

Notre longue série intitulée « Guide de dimensionnement », consacrée aux chaînes d'actions, débutée dans le numéro 105 de janvier-février 2000, s'achève ici avec cet article sur la conception des circuits de puissance pneumatiques.

La grande diversité des composants et de leurs cas d'usage fait qu'il est quelquefois peu aisé, pour les non-experts,

d'élaborer de tels circuits en respectant les conditions spécifiées pour leur commande fonctionnelle.

Les fiches d'aide à la conception (FAC) des circuits de puissance des actionneurs pneumatiques ont donc pour but de simplifier cette tâche.

Plus encore, les FAC devraient fournir aux élèves une synthèse ou une formalisation technologique qu'ils ont très rarement l'occasion d'élaborer.

MOTS-CLÉS automatismes, partie opérative, pneumatique, préactionneur, énergie, outil et méthode, sécurité

À ce stade où nous nous plaçons, l'actionneur est choisi et dimensionné, et l'on connaît ses conditions fonctionnelles et opérationnelles d'utilisation.

Le problème restant est le choix du distributeur et des auxiliaires pour piloter les vérins, dans les conditions spécifiées. L'aboutissement de ce travail de conception sera l'élaboration du schéma du circuit de puissance de l'actionneur.

Dans la première partie de cet article (*Technologie* n° 130), nous avons vu que les circuits d'alimentation et de commande de sécurité constituent le dispositif de sécurité électropneumatique minimal présent sur toute machine, et donc le point de départ de toute l'étude de la conception, du choix et du dimensionnement des circuits de puissance des actionneurs.

Il était également rappelé que ces circuits de puissance doivent réaliser quatre fonctions :

- le pilotage des mouvements ;
- la maîtrise des efforts ;
- la maîtrise des vitesses ;
- la commande sécuritaire.

Les fiches d'aide à la conception

Pour faciliter ce travail de conception des circuits de puissance – choix et agencement des composants du circuit –, nous vous proposons un ensemble de six fiches d'aide à la conception (FAC).

Les trois premières (FAC 1, FAC 2 et FAC 3) étaient présentées dans la première partie de ce guide ; les trois suivantes (FAC 4, FAC 5 et FAC 6) le sont ici.

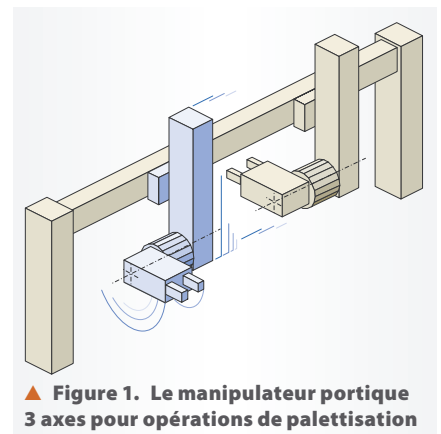
Chaque fiche correspond à un type de vérins avec une implantation caractéristique :

- FAC 1 : cas des vérins simple effet, montés en position indifférente
- FAC 2 : cas des vérins double effet, avec tige, montés horizontalement
- FAC 3 : cas des vireurs et vérins double effet, sans tige ou à tige traversante, travaillant dans un plan horizontal
- FAC 4 : cas des vérins double effet, avec tige, travaillant verticalement
- FAC 5 : cas des vérins double effet, sans tige ou à tige traversante, travaillant verticalement
- FAC 6 : cas des vireurs double effet travaillant dans un plan vertical

La méthode d'utilisation des FAC

Ces fiches couvrent la grande majorité des cas les plus courants. En voici les principes :

- un point de départ, le circuit d'alimentation pneumatique quasi commun à toutes les machines (ligne du bas) et un point d'arrivée, l'actionneur (ligne du haut) ;
- la mise en scène et un positionnement relatif des quatre fonctions à assurer (piloter, maîtriser les efforts, maîtriser les vitesses, sécuriser) entre l'alimentation et l'actionneur (colonne de droite) ;
- une suggestion de plusieurs solutions technologiques pour chacune de ces quatre fonctions (cellules du centre de la FAC) ;



▲ Figure 1. Le manipulateur portique 3 axes pour opérations de palettisation

- une progression croissante de la gauche vers la droite dans la performance des solutions (C mieux que B, B mieux que A) ;
- une chronologie des quatre étapes de choix, le pilotage, l'effort, la vitesse et enfin la sécurité.

Des exemples d'applications

Le support des quatre applications est un manipulateur portique trois axes (figure 1) avec un préhenseur à pince. Les données du cahier des charges sont les suivantes :

- **Mouvement principal horizontal** : module de translation constitué d'un vérin sans tige. Des arrêts intermédiaires le plus précis possible, une vitesse réglable dans les deux sens et un blocage de sécurité sont demandés.
- **Mouvement de montée/descente vertical** : module de translation équipé d'un vérin double effet avec tige. Un arrêt intermédiaire le plus précis possible, une vitesse réglable dans le sens de la

1. Professeur agrégé de génie mécanique en STS MAI au lycée Gustave-Eiffel de Cachan.
Courriel : taillard@lge.ens-cachan.fr

descente et un blocage sécuritaire sont demandés.

- **Mouvement d'orientation d'axe horizontal :** module de rotation (vireur à piston-crémaillère). Deux positions fin de course à 180°, un réglage fin de la vitesse dans le sens où la pince est chargée et un blocage de sécurité sont demandés.

- **Préhenseur :** pince à serrage parallèle munie d'un vérin double effet (sens de serrage sur rentrée de tige). Une limitation réglable de la force et de la vitesse de serrage, un maintien de l'action de préhension en cas d'arrêt de sécurité sont demandés.

Le cas de la pince

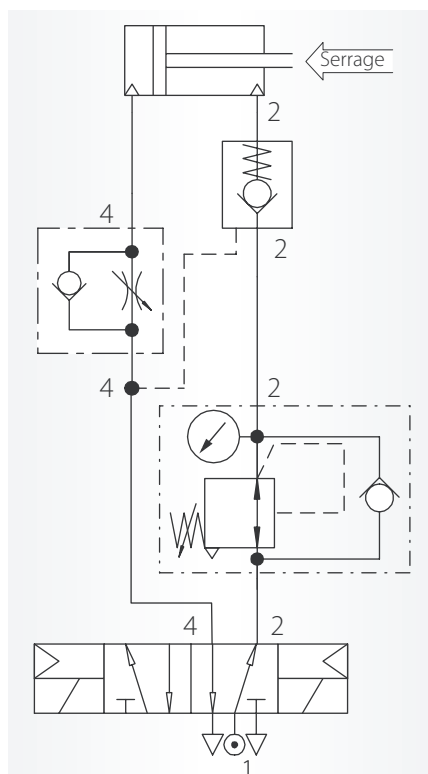
L'actionneur de la pince est un vérin double effet avec tige qui ne travaille pas dans les conditions verticales difficiles ; il est donc concerné par la FAC 2.

- **Étape 1, pilotage :** un simple distributeur 4/2 ou 5/2 convient (solution D ou E).

- **Étape 2, maîtrise des efforts :** l'implantation sur la voie 2 d'un régulateur de pression unidirectionnel est nécessaire.

- **Étape 3, maîtrise des vitesses :** le réglage de la vitesse de fermeture se fera en montant un régulateur de débit unidirectionnel sur la voie 4.

- **Étape 4, sécurité :** le maintien du serrage en cas d'arrêt de sécurité peut se faire par blocage pneumatique du vérin. Une solution simple, économique et efficace consiste à monter un clapet anti-retour piloté sur la voie 2.



▲ Figure 2. Le circuit de puissance de la pince

Le schéma de puissance résultant de ces choix est donné en figure 2.

Le cas du mouvement horizontal

L'actionneur de cette translation est un vérin double effet travaillant horizontalement ; il est donc concerné par la FAC 3.

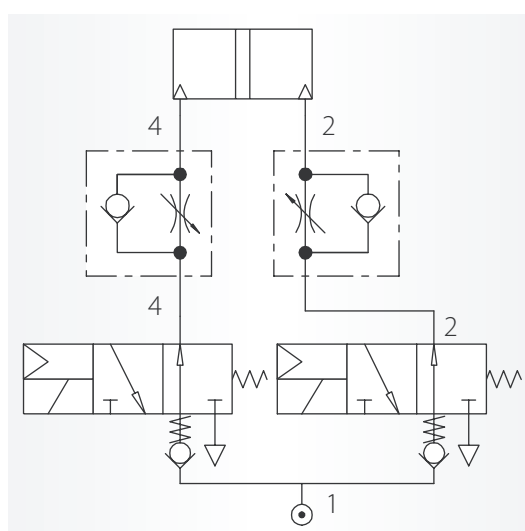
- **Étape 1, pilotage :** les arrêts intermédiaires précis peuvent être obtenus avec la solution G de deux distributeurs 3/2 avec clapet anti-retour. L'alimentation antagoniste des deux chambres ainsi que les clapets permettront le blocage pneumatique pour les arrêts.

- **Étape 2, maîtrise des efforts :** rien n'est exigé.

- **Étape 3, maîtrise des vitesses :** le réglage des vitesses se fera avec un régulateur de débit unidirectionnel sur chaque voie.

- **Étape 4, sécurité :** la solution G – déjà choisie pour les arrêts intermédiaires – permet de faire le blocage pneumatique de sécurité ; aucun autre composant n'est donc nécessaire (solution B).

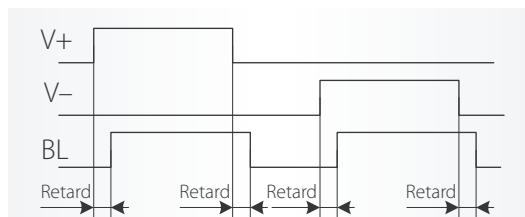
La solution finale du circuit de puissance est représentée en figure 3.



▲ Figure 3. Le câblage du vérin horizontal

régleur de débit unidirectionnel sur la voie 2.

- **Étape 4, sécurité :** la solution G associée à la solution C – déjà choisie pour les arrêts intermédiaires – permet de faire le blocage pneumatique de sécurité.



▲ Figure 4. Le décalage des pilotages des distributeurs

Le cas du mouvement vertical

L'actionneur de cette translation est un vérin double effet avec tige travaillant verticalement ; nous sommes donc dans le cas la FAC 4.

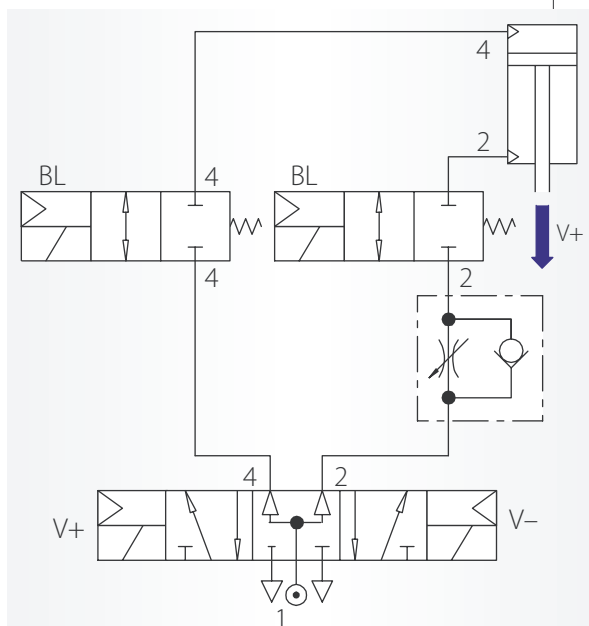
- **Étape 1, pilotage :** le meilleur arrêt intermédiaire s'obtient avec un distributeur 5/3 «centre ouvert» à la pression (solution G) devant être associé à deux bloqueurs 2/2 (solution C). L'alimentation antagoniste des deux chambres – avant de dépiler les bloqueurs – permet de freiner le vérin dans son mouvement pour un meilleur blocage pneumatique dans les arrêts. Les pilotages des distributeurs 5/3 et 2/2 devront être systématiquement retardés, comme le montre le chronogramme de la figure 4.

- **Étape 2, maîtrise des efforts :** rien n'est exigé.

- **Étape 3, maîtrise des vitesses :** le réglage de la vitesse de descente se fait en installant un

La solution finale du circuit de puissance de ce cas très pointu est donnée en figure 5.

Les décalages des pilotages (figure 4) assure des départs et arrêts plus francs.



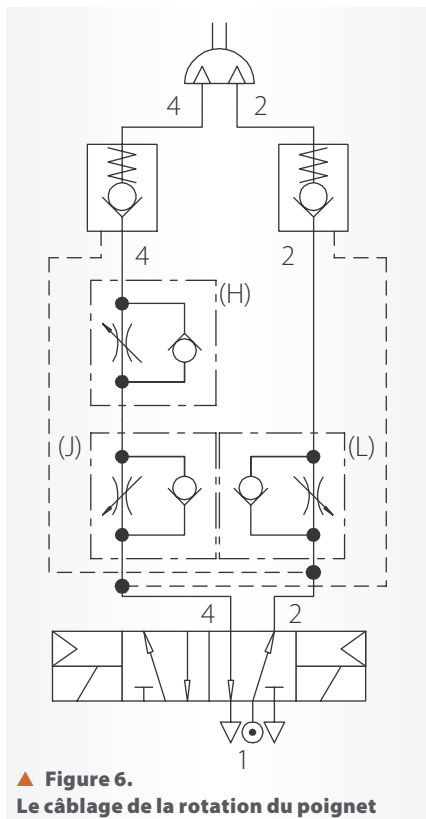
▲ Figure 5. Le circuit du mouvement vertical

Le premier retard permet de commuter le pilotage de montée avant la levée du frein pour éviter tout mouvement parasite au démarrage. Le retard à l'arrêt permet la mise à la pression des deux chambres pour freiner le mouvement avant de le bloquer.

Le cas du mouvement d'orientation

L'actionneur de cette rotation est un vireur (à piston-crémaillère) double effet, travaillant dans un plan vertical ; il faut utiliser la fiche FAC 6.

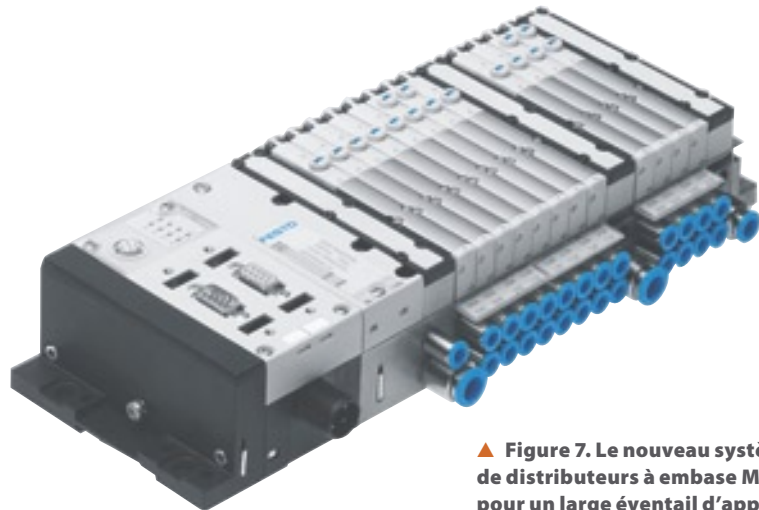
- **Étape 1, pilotage :** un simple distributeur 4/2 ou 5/2 convient pour piloter les deux positions fin de course (solution D ou E).
- **Étape 2, maîtrise des efforts :** rien n'est exigé.
- **Étape 3, maîtrise des vitesses :** le réglage fin de la vitesse de rotation, avec pince chargée, se fait par un double réglage des débits sur l'admission (H) et sur l'échappement (L). La vitesse de retour peut se faire plus simplement avec un seul régleur sur l'échappement (J).
- **Étape 4, sécurité :** la solution B – simple et économique – de deux clapets anti-retour pilotés sur chacune des voies permet d'assurer un blocage pneumatique efficace pour la sécurité.



▲ **Figure 6.**
Le câblage de la rotation du poignet

Le circuit de puissance correspondant est donné en figure 6.

La solution choisie pour le réglage de la vitesse de rotation – lorsque le bras



▲ **Figure 7.** Le nouveau système modulaire de distributeurs à embase MPA de Festo pour un large éventail d'applications, allant jusqu'à 360 NI/min

est chargé – n'est pas simple et réclame quelques explications.

Pour régler la vitesse, la solution connue de tous est la limitation du débit d'air à l'échappement. Mais nous oublions trop souvent qu'il est préférable de commencer par calibrer le débit à l'admission, en dimensionnant correctement le distributeur ou en installant un limiteur de débit sur l'admission.

Le cas qui nous concerne est typiquement le plus complexe, car, pendant une rotation, la charge statique appliquée à l'actionneur varie sinusoidalement d'une valeur résistante maximale à une valeur menante maximale.

Cette condition sévère de fonctionnement engendre automatiquement des fluctuations indésirables de la vitesse. C'est la raison pour laquelle il faut adopter la technique de réglage de vitesse la plus rigoureuse. C'est-à-dire : d'abord un débit à l'admission calibré – avec une taille adaptée de distributeur ou un régleur de débit à l'admission –, puis un ajustement du débit à l'échappement, pour réguler la vitesse en cas de variation des charges appliquées au vérin. D'où les choix faits pour l'application de la figure 6.

Le dimensionnement des distributeurs

Compte tenu de leurs dimensions, des quatre actionneurs présents sur le système, c'est le vérin sans tige horizontal qui nécessitera le plus gros débit d'alimentation. Si, comme c'est le cas le plus souvent

actuellement, la distribution pneumatique est réalisée par un terminal modulaire de distributeurs (figure 7), il suffit alors de dimensionner le plus gros pour choisir dans la gamme la taille du produit à monter sur la machine.

Les spécifications techniques du vérin sont :

- c : course du vérin, 1 000 mm
- S : section du piston en dm^2 (diamètre 40 mm)
- V : volume d'air consommé par course à la pression de service
- t : temps de course requis, 2,5 s
- Q : débit, en normolitres par minute, pour une vitesse de déplacement correspondant à t
- p_{serv} : pression manométrique de service délivrée par le circuit d'alimentation, 6 bars

Le débit nécessaire pour alimenter le vérin horizontal est donné dans le tableau ci-dessous.

Le distributeur choisi devra avoir un débit directement supérieur à 210 NI/min, et les autres composants de la chaîne sont sélectionnés avec un débit identique pour être compatibles.

Deux cas particuliers

L'utilisation des bloqueurs mécaniques – sur tige de vérin (figure 8), axe de vireur ou chariot de vérin sans tige – est de plus en plus fréquente. En effet, leur action est plus franche et le blocage permanent. C'est donc une solution plus sécuritaire.




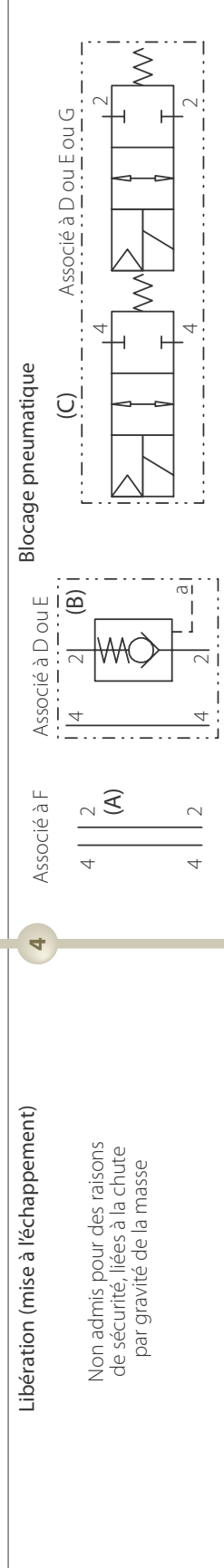

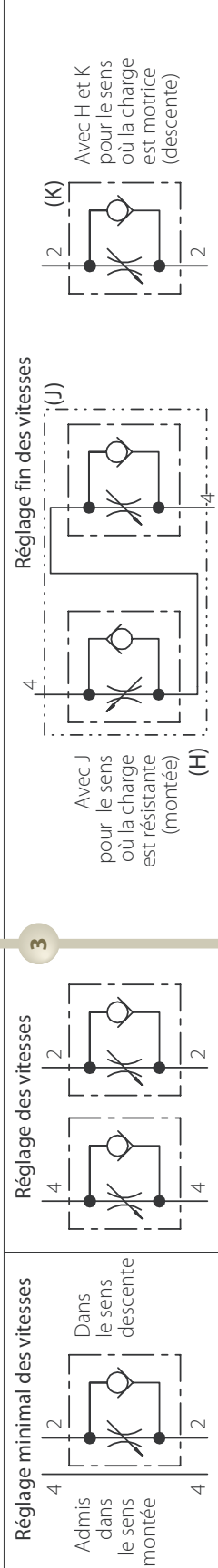

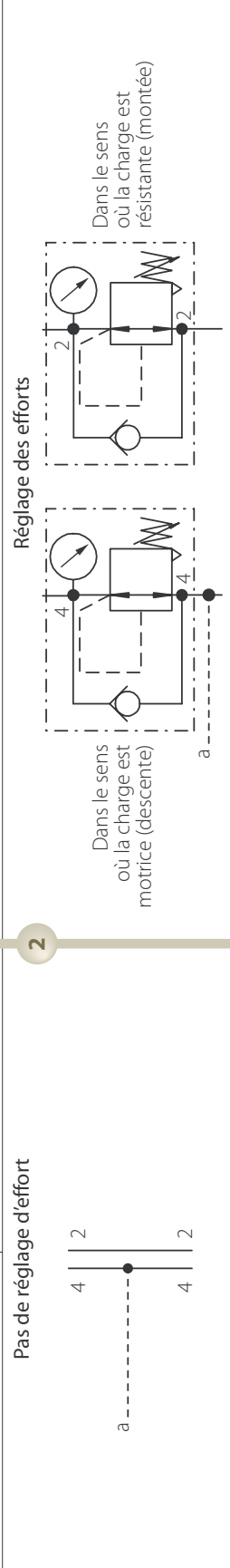

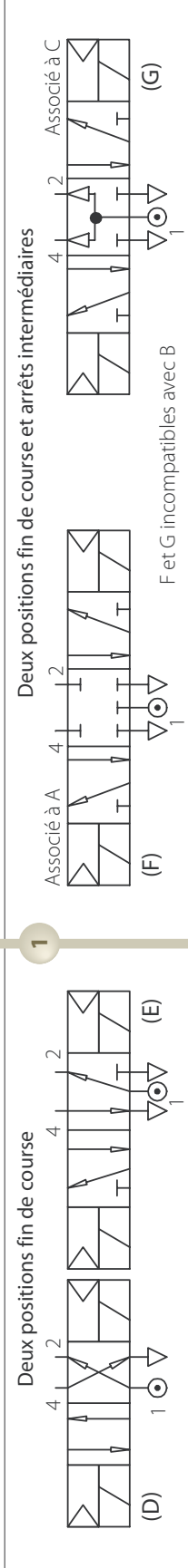

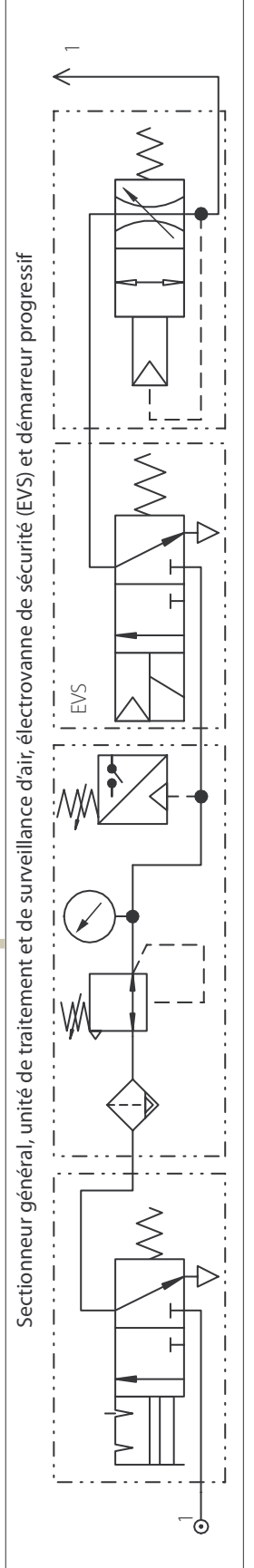
La commande est alors assurée au moyen de deux distributeurs (figure 8)

Tableau de calcul du débit consommé

Débit	Formule	Résultat
Consommation d'air en dm^3 à p_{serv} : V	$V = S \cdot c$	1,25 dm^3
Débit d'air nécessaire en dm^3/s à p_{serv} : Q'	$Q' = V/t$	0,5 dm^3/s à p_{serv}
Débit d'air nécessaire en NI/min : Q	$Q = Q' \cdot (p_{serv} + 1) \cdot 60$	210 NI/min


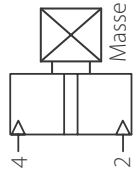

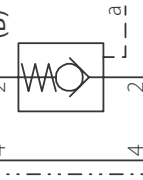
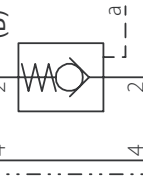
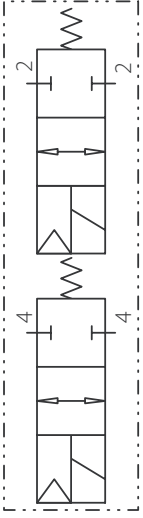




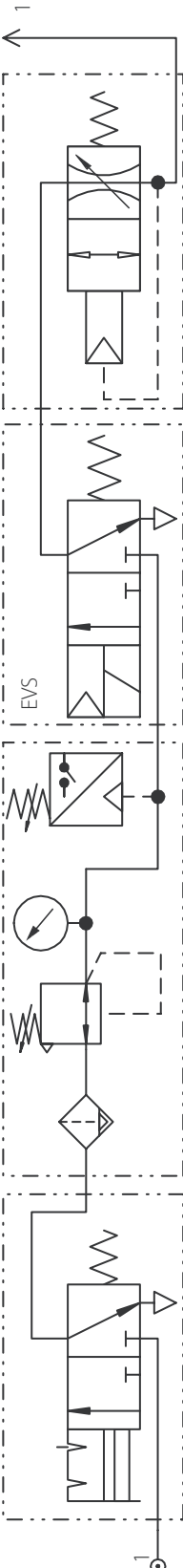
Vérin double effet, avec tige, travaillant verticalement

FAC 4

<p>ACTIONNEUR</p> 	
<p>SÉCURITÉ (associé à l'EVS)</p> 	<p>Libération (mise à l'échappement)</p> <p>Non admis pour des raisons de sécurité, liées à la chute par gravité de la masse</p> <p>Blocage pneumatique</p> <p>(C) Associé à D ou E ou G</p> 
<p>VITESSE</p> 	<p>Réglage minimal des vitesses</p> <p>Admis dans le sens de la montée</p> <p>Dans le sens de la descente</p> <p>Réglage des vitesses</p> <p>Avec J pour le sens où la charge est résistante (montée)</p> <p>Avec H et K pour le sens où la charge est motrice (descente)</p> <p>(H) (J) (K)</p> 
<p>EFFORT</p> 	<p>Pas de réglage d'effort</p> <p>Dans le sens où la charge est motrice (descente)</p> <p>Dans le sens où la charge est résistante (montée)</p> <p>(a)</p> 
<p>PILOTAGE</p> 	<p>Deux positions fin de course</p> <p>(D) (E)</p> <p>Associé à A</p> <p>Deux positions fin de course et arrêts intermédiaires</p> <p>(F) (G)</p> <p>Associé à C</p> <p>F et G incompatibles avec B</p> 
<p>ALIMENTATION</p> 	<p>Sectionneur général, unité de traitement et de surveillance d'air, électrovanne de sécurité (EVS) et démarreur progressif</p> <p>(EVS)</p> 







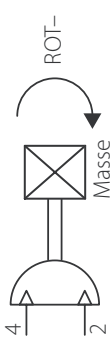
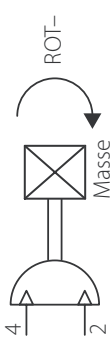
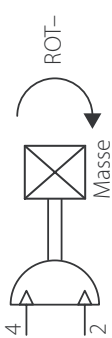
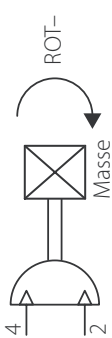
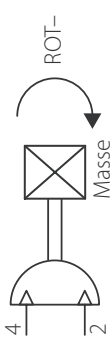
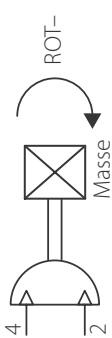
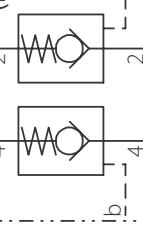
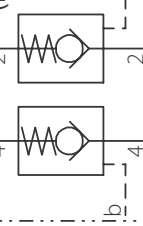
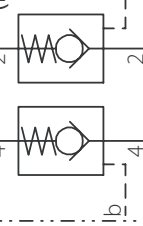
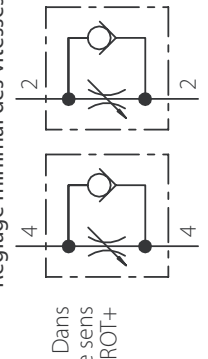
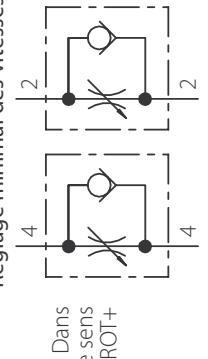
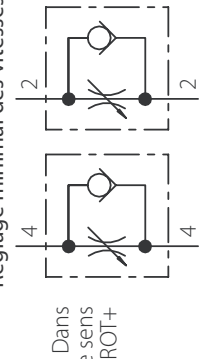
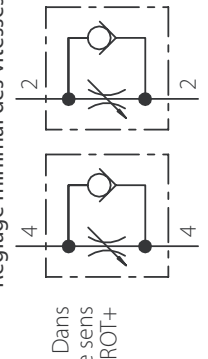
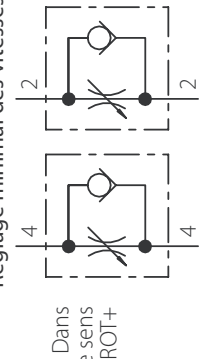
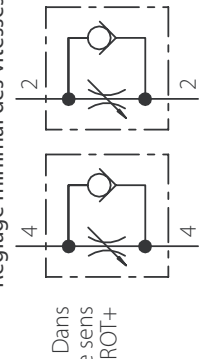
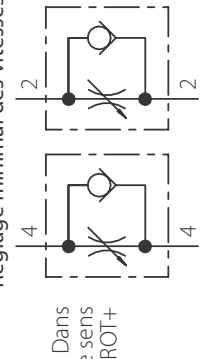
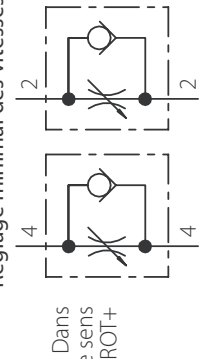
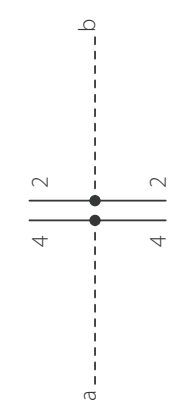
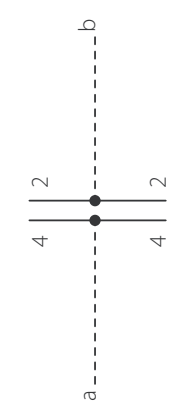
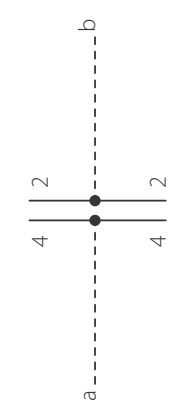
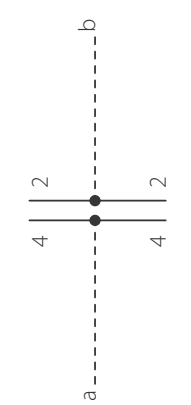
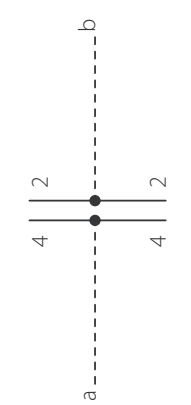
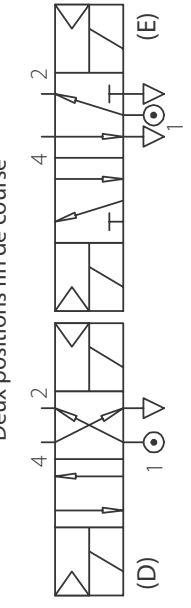
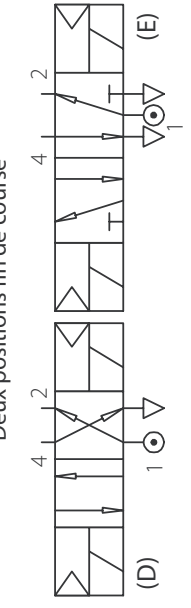
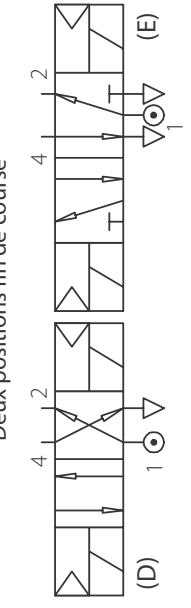
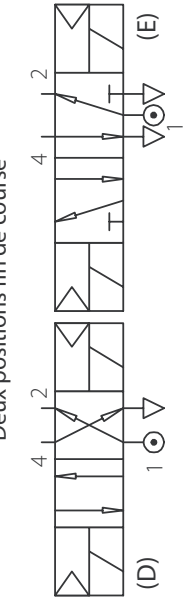
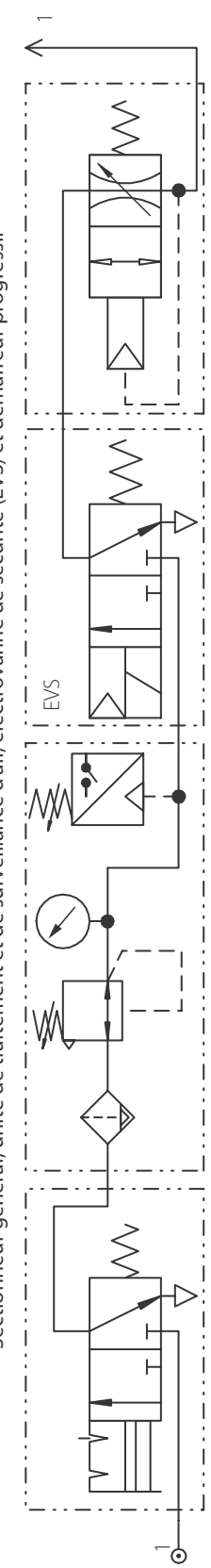
Vérin sans tige, vérin à tige traversante; double effet; travaillant verticalement

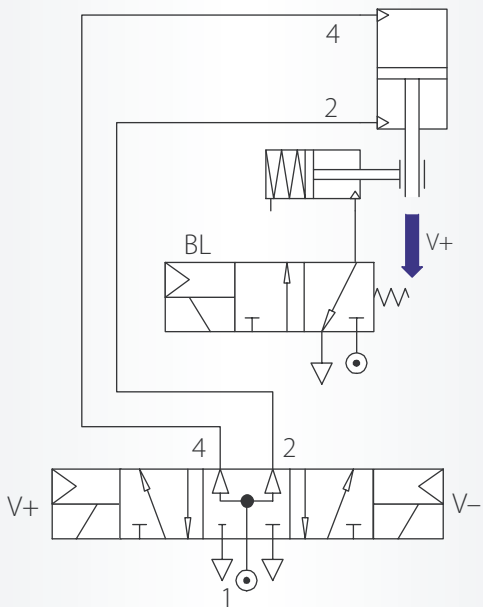
FAC 5

<p>ACTIONNEUR</p> 		<p>SÉCURITÉ (associé à l'EVS)</p> 	<p>Libération (mise à l'échappement)</p> <p>Non admis pour des raisons de sécurité, liées à la chute par gravité de la masse</p> <p>Associé à F</p> <p>(A)</p>  <p>Associé à D ou E</p> <p>(B)</p>  <p>Blocage pneumatique</p> <p>(C)</p> 	<p>VITESSE</p> 	<p>Réglage minimal des vitesses</p> <p>Admis dans le sens de la montée</p> <p>Dans le sens de la descente</p> <p>Réglage des vitesses</p> <p>(H)</p> <p>Avec J pour le sens de la montée</p> <p>(I)</p> <p>Réglage fin des vitesses</p> <p>(J)</p> <p>Avec H et K pour le sens de la descente</p> <p>(K)</p>	<p>EFFORT</p> 	<p>Pas de réglage d'effort</p> <p>(a)</p> <p>Dans le sens où la charge est motrice (descente)</p> <p>(b)</p> <p>Dans le sens où la charge est résistante (montée)</p>	<p>PILOTAGE</p> 	<p>Deux positions fin de course</p> <p>(D)</p> <p>(E)</p> <p>Associé à A</p> <p>(F)</p> <p>Dans le sens où la charge est motrice (descente)</p> <p>(G)</p> <p>Associé à C</p> <p>F et G incompatibles avec B</p>	<p>ALIMENTATION</p> 	<p>Sectionneur général, unité de traitement et de surveillance d'air, électrovanne de sécurité (EVS) et démarreur progressif</p> <p>(1)</p> 
--	---	--	--	---	---	--	--	--	---	--	---

Vireur double effet travaillant dans un plan vertical

FAC 6

ACTIONNEUR 	SÉCURITÉ (associé à l'EVS) 	VITESSE 	EFFORT 	PILOTAGE 	ALIMENTATION 
					
4 Associé à F  (A) Associé à D ou E  (B) Associé à D ou E ou G  (C)	3 Réglage minimal des vitesses  Dans le sens ROT+  Dans le sens ROT-  (F) Avec J et K pour le sens ROT+  (H) Avec H et L pour le sens ROT-  (I) Réglage fin des vitesses  (J)  (K)  (L)	2 Pas de réglage d'effort  a ----- b  a ----- b Réglage des efforts  Dans le sens ROT-  a ----- b Dans le sens ROT+  a ----- b	1 Deux positions fin de course  (R) Associé à A  (S) Deux positions fin de course et arrêts intermédiaires  (T) Associé à C  (U) Fet G incompatibles avec B	Sectionneur général, unité de traitement et de surveillance d'air, électrovanne de sécurité (EVS) et démarreur progressif  (V)	



▲ **Figure 8. Le circuit particulier pour la commande d'un bloqueur mécanique**

pilotés avec des décalages totalement similaires à ceux de la figure 4, pour les mêmes raisons.

Autre cas particulier : la commande d'un mouvement avec deux vitesses, l'une rapide pour l'approche et l'autre lente pour le travail. Cela peut se réaliser aisément avec deux régleurs de débit – l'un pour la petite vitesse (PV) et l'autre pour la grande (GV) – qu'il faut sélectionner au moyen d'un distributeur 3/2 supplémentaire, comme le montre la figure 9.

Conclusion

Si les deux derniers cas montrent que les six fiches d'aide à la conception ne sont pas totalement exhaustives, la formalisation technologique et la méthodologie

de construction qu'elles offrent en font néanmoins d'excellents outils d'apprentissage des circuits pneumatiques.

À défaut d'une totale complétude, je suis convaincu qu'elles permettront – grâce leur caractère didactique – de rendre moins abscons la pneumatique. ■

Bibliographie

Articles de Philippe Taillard dans *Technologie*

« La technique de préhension par le vide », n° 106, mars 2000

« Guide de dimensionnement – La production d'énergie pneumatique », n° 110, décembre 2000

« Guide de dimensionnement – Les actionneurs pneumatiques », n° 119, avril 2002

« Guide de dimensionnement – Les vérins pneumatiques », n° 121, septembre-octobre 2002

« Guide de dimensionnement – Les unités de translation pneumatiques », n° 122, novembre-décembre 2002

« Guide de dimensionnement – Les unités de rotation pneumatiques », n° 123, janvier-février 2003

« Guide de dimensionnement – Les pinces pneumatiques », n° 124, mars 2003

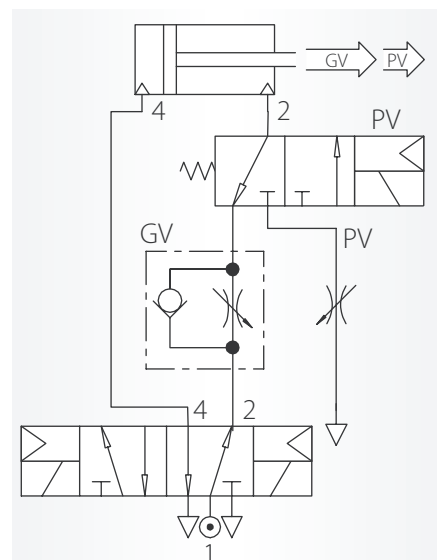
« Guide de dimensionnement – La distribution pneumatique (première partie) », n° 130, mars 2004

Articles de Philippe Taillard et Christian Teixido dans *Technologie*

« Guide de dimensionnement – Les actionneurs rotatifs et linéaires », n° 111, janvier-février 2001

« Guide de dimensionnement – L'implantation du couple vérin-effecteur », n° 120, mai-juin 2002

Les logiciels de dimensionnement du catalogue cédérom Festo 2002-2003
www.festo.com



▲ **Figure 9. Le circuit à 2 vitesses de sortie de tige**